



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000172505 A**(43) Date of publication of application: **23 . 06 . 00**

(51) Int. Cl.

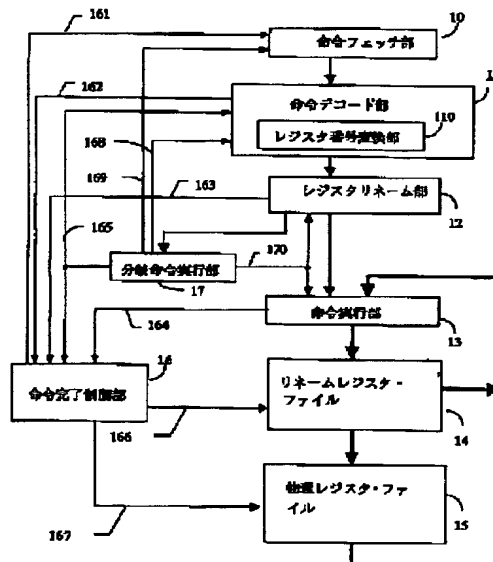
**G06F 9/38**(21) Application number: **10352257**(22) Date of filing: **11 . 12 . 98**(71) Applicant: **HITACHI LTD**(72) Inventor:  
**SHIMADA KENTARO  
KIMURA ISAO  
TANAKA KAZUNARI****(54) PROCESSOR PERFORMING REGISTER NUMBER CONVERSION**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make a register number specified by an instruction different from the number of a physical register which is actually used even when a superscalar processor renames registers.

**SOLUTION:** A decoding part 11 is equipped with a register number conversion part 110 which converts the register number specified by the instruction into the number of the physical register and after the register number specified by the instruction is converted into the number of the physical register when the instruction is decoded, a register renaming part 12 changes the physical register number into a renamed register number. When the register renaming is performed on a superscalar basis, the register number specified by the instruction can efficiently be converted into the number of the actually used physical register.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-172505

(P2000-172505A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 6 F 9/38

識別記号

3 5 0

3 7 0

F I

G 0 6 F 9/38

テマコード\* (参考)

3 5 0 A 5 B 0 1 3

3 7 0 X

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平10-352257

(22) 出願日

平成10年12月11日 (1998.12.11)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 島田 健太郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 木村 功

神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日

立製作所汎用コンピュータ事業部内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レジスタ番号変換を行うプロセッサ

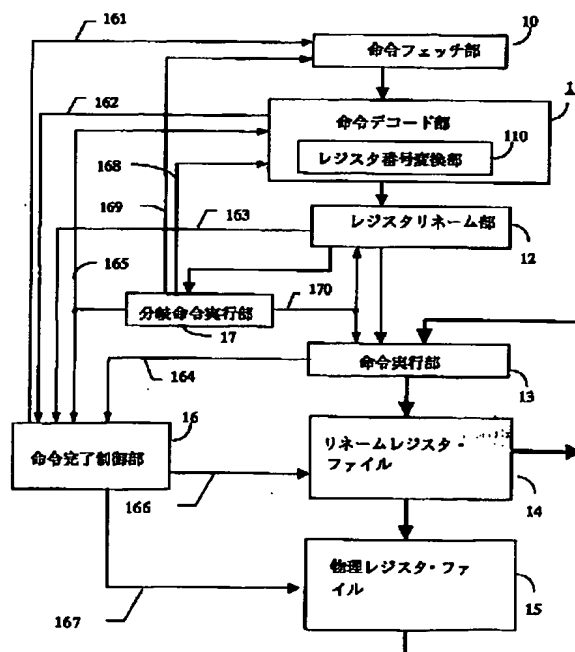
(57) 【要約】

【課題】 スーパースカラプロセッサでレジスタリネームを行う場合でも、命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号を異なるようにする。

【解決手段】 命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタの番号に変換するレジスタ番号変換部110を命令デコード部11に備え、命令を解読する時に命令で指定したレジスタ番号を物理レジスタの番号に変換した後、レジスタリネーム部12により物理レジスタ番号をリネームレジスタ番号に付け替える。

【効果】 スーパースカラでレジスタリネームを行う場合においても、命令で指定されたレジスタ番号を実際に用いる物理レジスタの番号に効率良く変換することができる。

図1



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 命令で指定したレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号とが異なる命令を有するプロセッサであって、前記命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタの番号に変換するレジスタ番号変換手段と、前記物理レジスタの番号を更に一時的なリネームレジスタ番号に付け替えるレジスタリネーム手段を備え、前記レジスタ番号変換手段により前記命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタの番号に変換した後、前記レジスタリネーム手段により前記物理レジスタ番号を前記リネームレジスタ番号に付け替えることを特徴とするプロセッサ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のプロセッサにおいて、前記レジスタ番号変換手段が、命令の実行に先立って命令を解読し実行内容を決する命令解読手段に含まれることを特徴とするプロセッサ。

【請求項 3】 請求項 2 に記載のプロセッサにおいて、前記レジスタ番号変換手段における前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の対応を変更するスライド命令を有し、前記命令解読手段において解読結果が前記スライド命令である時、前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の対応を即時に変更する即時番号対応変更手段を備えるプロセッサ。

【請求項 4】 請求項 2 に記載のプロセッサにおいて、前記命令解読手段は複数の命令を並行して解読するものであり、前記レジスタ番号変換手段は、並行して解読する複数の命令の組に前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号との番号対応の変更を指令するスライド命令が無かったときの変更前の番号対応で各命令の指定するレジスタ番号を物理レジスタ番号に変換する第 1 のレジスタ番号変換器と、前記並行して解読する複数の命令の組に前記スライド命令があったときの変更後の番号対応で各命令の指定するレジスタ番号を物理レジスタ番号に変換する第 2 のレジスタ番号変換器と、命令の解読結果に前記スライド命令がある時、元のプログラム順で前記スライド命令の前の命令には前記第 1 のレジスタ番号変換手段の出力を、前記スライド命令の後の命令には前記第 2 のレジスタ番号変換手段の出力を用いるように切り替える変換結果切替手段を備えるプロセッサ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載のプロセッサにおいて、前記スライド命令の 1 回の実行によって前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号との番号対応を変更する変更量を記録する番号対応変更量レジスタを備えることにより、前記第 2 のレジスタ番号変換手段が前記スライド命令実行後の変換結果を出力することを特徴とするプロセッサ。

【請求項 6】 請求項 4 に記載のプロセッサにおいて、前記命令解読手段には並行して解読する複数の命令の組に前記スライド命令が 2 個以上あることを検出する手段を

有し、前記スライド命令が 2 個以上あることが検出された時に、2 個目のスライド命令から後の命令を前記解読手段に再解読させる手段を更に備えることを特徴とするプロセッサ。

【請求項 7】 請求項 3 に記載のプロセッサにおいて、前記命令解読手段が命令を実行することが確定する前に投機的に命令を解読することを特徴とし、投機的に解読された命令がスライド命令であった時、前記即時番号対応変更手段が、前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を投機的に変更し、前記スライド命令が取り消された時、前記即時番号対応変更手段が投機的に変更した前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号との対応の変更を取り消す番号対応変更取り消し手段を備えるプロセッサ。

【請求項 8】 請求項 7 に記載のプロセッサであって、前記番号対応変更取り消し手段が、前記スライド命令が投機的に変更する前の前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を記録する番号対応記録手段と、前記スライド命令が取り消された時、前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を前記番号対応記録手段により記録された対応に復旧させる番号対応復旧手段からなるプロセッサ

【請求項 9】 請求項 8 に記載のプロセッサにおいて、前記番号対応記録手段には解読した命令が分岐命令であるときの番号対応が記録されることを特徴とするプロセッサ。

【請求項 10】 命令で指定したレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号が異なる命令を持ち、かつスライド命令により前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号との番号対応を変更するプロセッサにおいて、複数の命令を並行して解読する命令解読手段を備え、前記並行して解読する命令の組にスライド命令が無かったときの変更前の番号対応で各命令の指定するレジスタ番号をそれぞれ物理レジスタ番号に変換する第 1 のレジスタ番号変換器と、前記並行して解読する命令の組に前記スライド命令があったときの変更後の番号対応で各命令の指定するレジスタ番号を物理レジスタ番号に変換する第 2 のレジスタ番号変換器と、命令の解読結果に前記スライド命令がある時、元のプログラム順で前記スライド命令の前の命令には前記第 1 のレジスタ番号変換器の出力を、前記スライドの命令の後の命令には前記第 2 のレジスタ番号変換器の出力を用いるように切り替える切替手段を前記命令解読手段に含むことを特徴とするプロセッサ。

【請求項 11】 請求項 10 に記載のプロセッサにおいて、前記スライド命令の 1 回の実行によって前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の対応を変更する変更量を記録する番号対応変更量レジスタを備えることにより、前記第 2 のレジスタ番号変換手段が前記スライド命令実行後の変換結果を出力することを特

徴とするプロセッサ。

【請求項 1 2】請求項 1 0 に記載のプロセッサにおいて、前記命令解読手段には並行して解読する複数の命令の組に前記スライド命令が 2 個以上あることを検出する手段を有し、前記スライド命令が 2 個以上あることが検出された時に、2 個目のスライド命令から後の命令を前記解読手段に再解読させる手段を更に備えることを特徴とするプロセッサ。

【請求項 1 3】命令で指定したレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号が異なる命令を有し、かつスライド命令により前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の番号対応を変更するプロセッサにおいて、複数の命令を並行して解読する命令解読手段を備え、該命令解読手段中に、並行して解読する複数の命令の組に前記スライド命令があることを検出する手段と、命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタ番号に変換し、かつ前記スライド命令の検出を受けて変換の番号対応を更新するレジスタ番号変換手段と、並行して解読する命令の組に元のプログラム順で前記スライド命令の後にレジスタを使用する命令があることを検出する手段とを設け、前記レジスタを使用する命令以降の命令を前記解読手段に再解読させることにより更新された番号対応に従う物理レジスタ番号への変換を行うことを特徴とするプロセッサ。

【請求項 1 4】命令の実行に先だって命令を解読し実行内容を決定する命令解読手段を有し、かつ命令で指定したレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号とが異なる命令を実行可能なプロセッサであって、前記命令解読手段は前記命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタの番号に変換するレジスタ番号変換手段を含み、かつ前記物理レジスタの番号を更に一時的なリネームレジスタ番号に付け替えるレジスタリネーム手段と、アウト・オブ・オーダー処理を許して決定した前記実行内容と前記リネームレジスタ番号に従い命令を実行する命令実行手段と、実行が終えたレジスタ書き込み命令に関し元のプログラムの命令順で前記リネームレジスタ番号のレジスタ内容を前記物理レジスタに書き込む命令完了手段を有することを特徴とするプロセッサ。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】命令で指定するレジスタ番号と物理レジスタの番号が異なるようにできる番号変換を行うプロセッサに関し、特にレジスタリネームを行うプロセッサで高速に番号変換を行う技術に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】プロセッサにおいて、命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタ番号が異なるようにすると以下の二つの効果が得られる。

【0003】第 1 の効果は、命令で指定できるレジスタの数より多くの物理レジスタを持つことが可能になるこ

とである。近年デバイス技術の進歩によりプロセッサ内に大量のレジスタを集めたレジスタファイルを備えることは容易になっている。しかし、これに合わせて命令で指定できるレジスタ数を増やすことは簡単でない。多くのプロセッサの場合命令長は限られているので、命令の中でレジスタ番号の指定に用いることのできるビット数には限界がある。またそれまでの、指定できるレジスタ数が少ない命令と互換性を持つようにしなければ、ソフトウェアのバイナリ互換がとれない。そこで、命令で指定できるレジスタ数を変更しないまま、命令で指定されたレジスタ番号を一定の規則を設けて異なった物理レジスタ番号に変換すれば、物理レジスタの数が命令で指定できるレジスタの数に制限される必要をなくすることができる。

【0004】第 2 の効果は、同一の命令列において異なった物理レジスタを用いることが可能になることである。この第 2 の効果の例は二つ挙げられる。

【0005】第 1 の例は、ループにおける繰り返し処理である。ループを 1 回終了する毎に命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号との対応を変更する。するとループの繰り返しの間で別々の物理レジスタが用いられるので、各繰り返しの間でレジスタ依存関係がなくなり、各繰り返しが並列に実行できる。これは近年における命令の同時並列実行を行うスーパースカラ技術においては大きな効果である。

【0006】第 2 の例は、サブルーチン呼び出しなどの時のレジスタの待避回復処理である。通常はサブルーチン呼び出し時にレジスタの値をメモリに書き込んで待避し、サブルーチンの処理が終了する時、再びメモリより待避した値を読み出してレジスタに格納する。ここで命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号との対応をサブルーチン呼び出し時に変更し、サブルーチンの終了時に元に戻すようにすれば、サブルーチン内で用いる物理レジスタが異なるので、メモリとの間でレジスタの値の待避回復を行う必要をなくすることが可能である。

【0007】命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタ番号が異なるようにすると、以上のような効果が得られる。図 9 にこれを実施したプロセッサの従来の例を掲げる。図 9 において、命令フェッチ部 10 より命令デコード部 11 に命令コードが送られる。命令デコード部 11 では送られた命令コードを解読して、命令実行部 13 を制御する制御信号 900 と命令で指定された読み出すレジスタの番号 901 を生成する。命令で指定された読み出すレジスタの番号 901 は、ウィンドウポインタ 90 の値と読み出しレジスタ番号加算器 910 にて加算され、実際に読み出される物理レジスタの番号 902 となる。命令実行部 13 では、読み出し物理レジスタの番号 902 によって物理レジスタファイル 16 より読み出された物理レジスタの値を用いて制御信号 900 により指定された命令を実

行し、実行した結果を物理レジスタファイル16に送って書き込む。この時命令で指定された書き込みレジスタの番号903を書き込みレジスタ番号加算器911に送り、同じくウィンドウポインタ90の値と加算して、実際に書き込む物理レジスタの番号904を生成する。命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号との対応を変更する時は、特別なスライド命令を実行し、ウィンドウ変更信号905によりウィンドウポインタ90の値を変更する。

【0008】近年プロセッサの技術においては、先にも述べた複数の命令を同時に実行するスーパースカラ技術、および特に命令の実行順序を並び替えて実行するアウト・オブ・オーダー (Out of Order) 技術が高い効果を挙げている。特にアウト・オブ・オーダー技術において、用いるレジスタを実行時に割り当て直し、命令間の依存関係をなくしてプロセッサの処理効率を高めるレジスタリネームの技術がある。しかし、図9に掲げたような命令で指定されたレジスタ番号を別に物理レジスタの番号に変換する場合には、そのままではレジスタリネームの技術を用いることは困難である。即ち、レジスタリネームの技術では、レジスタの読み出し・書き込みには、実行時に割り当てられたリネームレジスタの番号が用いられるため、図9のような構成とは両立しない。アウト・オブ・オーダーを行わないスーパースカラ計算機に対しては、特開平5-20010号及び特開平9-325888号に示されるようなウィンドウポインタを3個設けて効率化する技術を適用して有効であるが、アウト・オブ・オーダーやレジスタリネームを行う場合には、これも適用することができない。

【0009】アウト・オブ・オーダー技術を発展させたものとして、更に分岐命令の後続の命令を先に実行したり、割り込みが発生する可能性のある命令の後続の命令を先に実行してしまう投機実行の技術がある。分岐命令では、分岐先の予測を行い、予測に基づいて投機実行を行う対象の命令を決める。割り込みが発生する可能性のある命令の場合には、割り込みが発生しないものと仮定して、後続する命令を投機実行する。このような投機実行では一般的に投機実行した命令の実行結果はリネームレジスタに蓄えておき、分岐予測が誤っていたり、割り込みが発生した時にはその蓄えた内容を消去する。

【0010】このような投機実行の技術に対して、図9のような構成を採るプロセッサでは、ウィンドウポインタの変更が大きな問題となる。即ち、図9では、命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号との対応を変更する時は、特別なスライド命令を実行してウィンドウポインタ90の内容を変更しなければならない。しかしこの変更を投機実行されたスライド命令で行ってしまうと、分岐予測の誤りもしくは割り込み発生により投機実行が取り消された時、ウィンドウポインタ90の内容が変更されたままとなってしまう。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、スーパースカラ技術を適用するプロセッサにおいて、特にレジスタリネームを行う場合においても、命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号を異なるようにすることを効率良く行うことを目的とする。

【0012】また本発明では、更に、命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号の対応を変更するスライド命令についても、投機実行を効率良く行うことを目的とする。

【0013】また、本発明のより具体的な目的は、レジスタリネームを行うプロセッサにおいて、命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号を異なるようにするために、レジスタ番号の対応を変更するスライド命令についても、投機実行された時にその結果を取り消せるようにすることにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明に従うプロセッサは、上記の課題を解決するために、命令で指定したレジスタ番号を物理レジスタの番号に変換するレジスタ番号変換手段と、物理レジスタの番号を更に一時的なリネームレジスタ番号に付け替えるレジスタリネーム手段を備え、前記レジスタ番号変換手段により前記命令で指定したレジスタ番号を前記物理レジスタの番号に変換した後、前記レジスタリネーム手段により前記物理レジスタ番号を前記リネームレジスタ番号に付け替える。

【0015】この構成によれば、命令で指定したレジスタ番号が先に物理レジスタ番号に変換されるので、物理レジスタ番号に対するレジスタリネーム手段を備えるだけで、命令で指定したレジスタ番号と物理レジスタの番号が異なってもレジスタリネームを容易に実現することができる。

【0016】また前記レジスタ番号変換手段が、命令の実行に先立って命令を解読し実行内容を決定する命令解読手段に含まれる。この構成によれば、命令の実行に先立って番号変換が行われるので、命令の実行を停止する必要はなく番号変換を行うことによるペナルティが発生しない。

【0017】また、前記レジスタ番号変換手段における前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の対応を変更するスライド命令を有し、前記命令解読手段において解読結果が前記スライド命令である時、前記命令で指定したレジスタ番号と前記物理レジスタの番号の対応を即時に変更する即時番号対応変更手段を備える。

【0018】本発明に従うプロセッサのより具体的な特徴を述べると、前記命令解読手段は複数の命令を並行して解読するものであり、前記複数の命令の各々に対し、前記スライド命令実行前の変換結果を出力する第1のレジスタ番号変換手段と、前記スライド命令実行後の変換

結果を出力する第2のレジスタ番号変換手段を備え、前記命令解読手段において解読結果に前記スライド命令がある時、前記番号対応変更手段において、前記スライド命令の前の命令は前記第1のレジスタ番号変換手段の出力を、前記スライド命令の後の命令は前記第2のレジスタ番号変換手段の出力を用いるように切り替える変換結果切替手段を備える。この構成によれば、スライド命令であることを解読したときこれと並行して解読中の命令についても再解読を行うことなく即時にスライド命令の実施、すなわち命令指定のレジスタ番号と物理レジスタ番号の間の対応の変更を行える。なおこの構成においても、並行して解読する複数命令中に2個以上のスライド命令が検出されたときには2個目のスライド命令以降を再解読させ、この間に上記第1、第2のレジスタ番号変換手段のレジスタ番号対応の設定をそれぞれ更新させる。

【0019】一方、この2組のレジスタ番号変換手段をもつ構成に代えて、レジスタ番号変換手段を1組備え、スライド命令を検出するとこれに設定するレジスタ番号対応を更新する構成も可能である。この場合、検出されたスライド命令と並行して解読中で、かつ元のプログラム順でそのスライド命令より後にレジスタを使用する命令があるときこれを検出する手段を設け、そのレジスタ使用命令以降を再解読させて更新されたレジスタ番号対応による物理レジスタ番号への変換を改めて行う構成とすれば良い。この構成では、レジスタ番号対応の更新幅（変更量）をスライド命令自体で自在に設定することへの対応が容易である。

【0020】本発明に従うプロセッサの別の具体的な特徴を述べると、前記命令解読手段が、命令を実行することが確定する前に投機的に命令を解読し、投機的に解読された命令がスライド命令であった時、前記番号対応変更手段が前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を投機的に変更し、前記スライド命令が取り消された時、前記番号対応変更手段が投機的に変更した前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号との対応の変更を取り消す番号対応変更取り消し手段を備える。

【0021】また、前記番号対応変更取り消し手段が、前記スライド命令が投機的に変更する前の前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を記録する番号対応記録手段と、前記スライド命令が取り消された時、前記命令で指定されたレジスタの番号と前記物理レジスタの番号の対応を前記番号対応記録手段により記録された対応に復旧させる番号対応復旧手段からなる。

【0022】本発明の他の特徴は以降の発明の実施の形態の記述により明らかにされる。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態の例を図によ

り説明する。なお、以下において、図中の信号線はすべて必要な命令コード、レジスタ番号などを送信するのに必要なビット数があるものとする。

【0024】図1に本発明に係わるプロセッサの実施の形態の例を示す。

【0025】命令フェッチ部10はプロセッサ外のメモリまたは命令キャッシュから命令コードを読み出し、命令デコード部11へ送る。また命令フェッチ部10では、分岐命令について、分岐先の予測を行い、予測した分岐先の命令を次々に読み出して命令デコード部11に送る。このようにすることにより、命令デコード部11は、分岐命令が実際に実行される前に、投機的に命令のデコードを行うことができる。

【0026】命令デコード部11はレジスタ番号変換部110を備え、命令フェッチ部10より送られた命令コードで指定されたレジスタ番号を物理レジスタ・ファイル15に含まれる物理レジスタの番号に変換する。

【0027】変換された物理レジスタの番号は、命令デコード部11で他に生成される命令制御情報と共にレジスタリネーム部12に送られる。

【0028】レジスタ・リネーム部12において、物理レジスタの番号は更にリネームレジスタ・ファイル14に含まれるリネームレジスタ番号に付け替えられ、同じく命令制御情報と共に命令実行部13または分岐命令の場合には分岐命令実行部17に送られる。より詳細には、書き込みを行うレジスタ番号については、命令毎に新しいリネームレジスタ番号を割り当てる。この時リネームレジスタ割り当て信号163により、命令完了制御部16へ当該物理レジスタ番号に新しくリネームレジスタを割り当てたことを報告する。読み出しを行うレジスタ番号については、過去にその物理レジスタ番号に書き込みを行う命令があつてリネームレジスタ番号が割り当てられており、まだその命令が実行されていないか、実行されていてもまだリネームレジスタ・ファイル14から物理レジスタ・ファイル15へ結果が移されていない場合には、リネームレジスタを読み出すために、書き込みの時に割り当てられたリネームレジスタ番号に付け直す。そうでない時、即ち過去にその物理レジスタ番号に書き込みを行う命令がないか、書き込みを行う命令があつても既に実行が完了して、結果もリネームレジスタ・ファイル14から物理レジスタ・ファイル15へ移されているときは、物理レジスタを読み出すために、物理レジスタ番号をそのまま送り、特にリネームレジスタ番号への付け直しは行われない。

【0029】命令実行部13では、レジスタリネーム部12より送られた読み出しのリネームレジスタ番号もしくは物理レジスタ番号を用いて、リネームレジスタ・ファイル14もしくは物理レジスタ・ファイル15よりデータを読み出して命令の実行を行う。当該リネームレジスタに書き込みを行う命令がまだ実行されていない場合には、実

行されるまでレジスタリネーム部12より送られてきた命令を待機させる。この場合、後続して送られてくる命令で既に読み出すレジスタに値が格納されている命令があれば、これを先に実行する。これがアウト・オブ・オーダー実行処理となる。後続して送られてくる命令が書き込むレジスタの元の物理レジスタ番号が、待機している命令の読み出しまたは書き込みを行うレジスタの元の物理レジスタ番号と一致していても、命令実行部13が実際に書き込みを行うのは命令毎に新しく割り当てられるリネームレジスタであり、直接物理レジスタに書き込みを行うことはない。このため、待機している命令がアウト・オブ・オーダー実行処理で後続の命令に追い越されても、読み出すリネームレジスタないし物理レジスタの値が破壊されたり、また追い越された後続の命令の結果を後から上書きしない。これが、レジスタリネームの効果である。

【0030】命令が実行された場合は、リネームレジスタ・ファイル14内の、レジスタリネーム部12より送られた書き込みのリネームレジスタ番号のリネームレジスタへ結果の書き込みを行う。また実行終了信号164により命令完了制御部へ実行の終了を報告する。

【0031】また分岐命令の場合には、分岐命令実行部17により実行され、実行終了信号165を、命令完了制御部16及び命令デコード部11に送出する。また分岐を実行した結果、命令フェッチ部10での予測と異なった分岐結果が得られると投機実行の失敗となる。投機実行の失敗が判明した時は、投機失敗による命令再フェッチ信号169を命令フェッチ部10へ送って、あらためて正しい分岐先より命令フェッチを行う。また投機失敗による取り消し信号170をレジスタリネーム部12及び命令実行部13に送り、投機的に割り当てたリネームレジスタや投機的な命令の実行を取り消す。特に命令デコード部11には、レジスタ番号の対応変更取り消し信号168を送出する。

【0032】命令完了制御部16では、命令実行部13または分岐命令実行部17より実行終了信号164及び165を受け取り、実行の終了した命令について、元の順番、即ち命令のプログラム順に基づいて完了処理を行い、順にリネームレジスタ・ファイル14に格納されたデータを読み出し指示信号166を用いて読み出し、書き込み指示信号167により物理レジスタ・ファイル15内の元の物理レジスタ番号のレジスタへ書き込む。このように、物理レジスタ・ファイル15への書き込みはプログラム順で行われるので、命令実行部13でアウト・オブ・オーダー実行処理により命令が追い越されて実行されても、物理レジスタ・ファイル15内のデータは矛盾することがない。

【0033】ここで、本発明の中心に関わるのは、命令デコード部11内のレジスタ番号変換部110である。レジスタ番号変換部110において、命令で指定されたレジスタ番号は物理レジスタの番号に変換されるので、先に述べた二つの効果、即ち物理レジスタ数を命令で指定でき

る数より多くしたり、同一の命令でも異なる物理レジスタを用いたりすることができる。また命令デコード部11内に新しくレジスタ番号変換部110を設けたことにより、レジスタリネーム部12では、命令で指定されたレジスタ番号でなく、実際の物理レジスタの番号に対してレジスタリネームの処理を行えば良いので、上記のように容易に処理することができる。

【0034】また命令で指定されたレジスタ番号と実際の物理レジスタとの番号の対応を変更するスライド命令が実行される場合では、図1では命令デコード部11において2個以上のスライド命令がデコードされた時、もしくはスライド命令とレジスタ使用命令が同時にデコードされた時、命令再フェッチマーク信号162を命令完了部16へ送出する。命令完了部16では、再フェッチマーク信号162が送られた命令について、それより前の命令がすべて命令実行部13において実行され、実行終了信号164または165を送出してきたら、命令再フェッチ信号161を命令フェッチ部10に送り、当該命令からあらためて命令デコード部11へ命令コードを送り直すことを指示する。更に、分岐命令実行部17において投機実行の失敗が判明すると、対応変更取り消し信号168が命令デコード部11に送られる。命令デコード部11では、レジスタ番号変換部110において、命令で指定されたレジスタ番号と物理レジスタの番号の対応を投機実行前、即ち投機実行失敗が判明した分岐命令実行時の状態に戻し、投機的に実行されたスライド命令によるレジスタ番号の対応の変更を取り消す。

【0035】図2に本発明に係わる命令デコード部11の実施の形態の例を掲げる。図2は、5命令を同時にデコードする場合で、かつ分岐予測によりスライド命令を投機実行する場合の例である。

【0036】図2において、命令フェッチ部10より同時にデコードする5命令の命令コードが信号線121により送られる。この時、命令コード中のレジスタ番号の部分は信号線122により抜き出され、2組準備されたレジスタ番号変換器111と112へ送られる。第1のレジスタ番号変換器111は、その5命令中にスライド命令がないと仮定して各命令で指定されたレジスタ番号をそれぞれ物理レジスタ番号に変換し、一方、第2のレジスタ番号変換器112は5命令の最初がスライド命令であったと仮定して各命令で指定されたレジスタ番号をそれぞれ物理レジスタ番号に変換する。実際にレジスタリネーム部12へ出力されるレジスタ番号は番号セクタ114で選択したいずれか一方の物理レジスタ番号となる。

【0037】より詳細に説明すると、番号変換制御部130は、第1のレジスタ番号変換器111にスライド命令実行前の変換ベース値132を与え、第2のレジスタ番号変換器112にスライド命令実行後の変換ベース値133を与え、レジスタ番号変換器111は、信号線122の上の5命令が指定するレジスタ番号にそれぞれ上記ベース値132を

加算する。レジスタ番号変換器112は先頭の命令を除く4命令が指定するレジスタ番号にそれぞれ上記ベース値133を加算する。また、命令フェッチ部10より送られた5命令の命令コード121はスライド命令検出・制御部113にも送出される。スライド命令検出・制御部113は5命令中にスライド命令を検出した場合、スライド命令の前の命令にはレジスタ番号変換器111の結果を、スライド命令の後の命令にはレジスタ番号変換器112の結果を用いるようにセレクト信号117を生成して、番号セクタ114へ送出する。番号セクタ114はセレクト信号117に従って、5命令中の2番目の命令から5番目の命令について、レジスタ番号変換器111またはレジスタ番号変換器112の結果を選択し、信号線116によって、結果をレジスタリネーム部12へ送出する。このとき、5命令中の先頭の命令は、スライド命令の後の命令にはならないので、番号セクタ114により選択を行う必要はなく、第1のレジスタ番号変換器111の結果を常に信号線116に送出すればよい。従って、スライド命令の実行前の番号変換を行うレジスタ番号変換器111は5命令すべてについて変換を行うが、スライド命令実行後の番号変換を行うレジスタ番号変換器112は2番目から5番目までの4命令についてのみ変換を行う。

【0038】スライド命令検出・制御部113は、スライド命令を検出した時、スライド命令検出信号131を番号変換制御部130に送出し、変換ベース値132、及び133の値を変更することを指示する。また図2において、番号セクタ114ではスライド命令が一つある時の選択を行うことができるだけであるので、信号線121により送られてきた5命令の命令コード中にスライド命令が2個以上あると、2個目のスライド命令以降は正しい変換結果を出力できない。そこで、スライド命令検出・制御部113において2個目のスライド命令を検出し、命令再フェッチマーク信号162を生成して、命令完了制御部16へ送出する。これにより先に述べたように、2個目のスライド命令から命令が再び命令フェッチ部10より信号線121に送られてくるので、2個目のスライド命令から再解釈することができる。

【0039】また分岐命令検出部140により、5命令の命令コード中に分岐命令が検出された時は、分岐命令検出信号141が番号変換制御部130へ送出される。番号変換制御部130では、分岐命令検出信号141と、分岐命令実行部17より送出される分岐命令終了信号165によって、分岐命令実行前の投機的実行状態にあるスライド命令によるレジスタ番号変換の対応変更を管理する。分岐命令実行部17より投機実行の失敗による対応変更取り消し信号168が送られてきた場合には、番号変換制御部130によって、スライド命令による変換ベース値132、及び133の値の変更が取り消される。

【0040】また命令を実行するのに必要な他の制御信号については、レジスタ・演算器制御情報生成部115に

において、制御情報が生成され、信号線123によりレジスタリネーム部12、及びレジスタリネーム部12から命令実行部13へ送られて用いられる。

【0041】図3に図2の命令デコード部の実施の形態の例において使用可能な番号変換制御部130の例を掲げる。

【0042】図3では、命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタ番号の現在の対応のベース値を保持するベースレジスタ201、スライド命令1回の実行で変更される量を保持する変更量レジスタ202、及びベースレジスタ201の内容に変更量レジスタ202の内容を加算する加算器203、分岐命令実行前の投機状態のベースレジスタ201の変更の履歴を記録するベースバッファ204を備えている。スライド命令実行前の変換を行う第1のレジスタ番号変換器111には、ベースレジスタ201の内容をそのまま変換ベース値132として送出する。スライド命令実行後の変換を行う第2のレジスタ番号変換器112へは、ベースレジスタ201の内容に変更量レジスタ202の内容を加算器203で加えた結果を変換ベース値133として出力する。

【0043】またスライド命令検出・制御部113よりスライド命令検出信号131が送出された時には加算器203の出力がベースレジスタ201に書き込まれる。この結果ベースレジスタ201の内容が変更され、解読中であるの5個の命令の組の次の命令の組に備えて変換ベース値132、及び133の値が変更される。

【0044】分岐命令検出部140より分岐命令検出信号141が送出されてきた時には、その時のベースレジスタ201の内容をベースバッファ204に蓄える。このようにすることによって、ベースバッファ204は命令デコード部11から分岐命令実行部17に至るまでに存在する分岐命令各々に対応するベースレジスタ201の履歴を記録する。分岐命令実行部17より分岐実行終了信号165が送出されてきた時には、ベースバッファ204に蓄えられた履歴が順に読み出される。この時同時に分岐命令実行部17より対応取り消し信号168が出力されてきた時には、ベースバッファ204から読み出された値をベースレジスタ201に書き戻す。これによって投機実行失敗時にベースレジスタ201の内容を回復し、投機的に行われたスライド命令によるベースレジスタ201の変更を取り消すことができる。

【0045】図4は同じく図2の命令デコード部11の実施の形態の例において使用可能な、スライド命令検出・制御部113の例である。

【0046】図4において、命令フェッチ部10より送られてきた5命令の命令コードは、スライド命令検出回路301によりスライド命令でないかどうかそれぞれ調べられる。スライド命令検出回路301の検出結果はORゲート回路302によって図のように2命令分、3命令分、4命令分、の論理和がそれぞれ取られ、先頭命令の検出出力



とあわせて番号セクタ114のセレクト信号117とする。すなわち信号117は図4の上から順に、1個目の命令に、2個目の命令までに、3個目の命令までに、4個目の命令までにスライド命令があったことを示し、それぞれ2個目、3個目、4個目、5個目の命令の命令コード中のレジスタ番号の変換結果を図2の第1のレジスタ番号変換器111の変換結果から第2のレジスタ番号変換器112の変換結果に切り換える働きをする。また、5命令分の検出出力の論理和が取られ、番号変換制御部のベースレジスタ201へ変換ベース値の変更を指示するスライド命令検出信号131が生成される。また更にORゲート回路302の出力、及びスライド命令検出回路301の出力がANDゲート回路303により図のように論理積が取られ、2番目から5番目までの命令がそれぞれフェッチされた5命令中で2個目以降のスライド命令であるとき、それを示す再フェッチマーク信号162が生成される。命令完了制御部16では再フェッチマーク信号162が付いた最初の命令について命令再フェッチ信号161を命令フェッチ部10に送出する。

【0047】このように、図2から図4の各部構成を採用した実施例では、解読中の複数命令中にスライド命令がないと仮定して物理レジスタ番号への変換を行う第1のレジスタ番号変換器と、スライド命令があると仮定して物理レジスタ番号への変換を行う第2のレジスタ番号変換器を備え、実際にスライド命令が検出されると元のプログラム順で後の命令についてのみ第1のレジスタ番号変換器の変換結果から第2のレジスタ番号変換器の変換結果に切り替え、各命令の使用物理レジスタ番号としてレジスタリネーム部へ送出する。したがって命令指定のレジスタ番号と物理レジスタ番号との対応の変更が、命令の再フェッチ等を行うことなく即時にでき、対応の変更の際に処理効率の低下がない。

【0048】上記した構成を更に発展させ、並行して動作するレジスタ番号変換器を3組（又はそれ以上）設け、並行して解読する命令中に存在するスライド命令が2個（2個以上）の場合まではそれらの番号変換器の出力の切り替えでレジスタ番号の対応の変更を即時に実行する構成とすることができる。命令デコード部で並列に解読する命令数がより多い場合に、このような発展させた構成が有効なことはこれまでの説明で理解できるであろう。

【0049】図5は、本発明に係わる命令デコード部11の実施の形態の別の例である。図5における例も図2と同じく5命令を同時にデコードする。

【0050】図5の命令デコード部では、スライド命令実行前の変換を行う5命令分のレジスタ番号変換器111だけを備え、スライド命令実行後の変換を行うレジスタ番号変換器は備えない。それに代えて、スライド命令・レジスタ使用命令検出・制御部401において、図2の例と同じスライド命令検出信号131に加えて、スライド命

令の命令コードより直接変更量を抽出したスライド幅信号403を生成し、番号変換制御部402へ送出する。図2の実施の形態の例では、スライド命令の変更量は変更レジスタ202の内容に固定であったが、図5のようにすることで、スライド命令ごとに変更量が異なる場合でも処理することができる。

【0051】また図5では、スライド命令・レジスタ使用命令検出・制御部401において、2個目のスライド命令に加え、スライド命令の後でレジスタを使用する命令についても再フェッチマーク信号162を生成する。他の動作は図2の実施の形態の例と同じである。

【0052】図6は、図5の命令デコード部11の実施の形態の例において使用可能な番号変換制御部402の例である。

【0053】図は、図3における例と同様に、命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタ番号の現在の対応のベース値を保持するベースレジスタ201、加算器203、ベースバッファ204を備えている。図6において加算器203はベースレジスタ201の内容とスライド命令・レジスタ使用命令検出・制御部401より送られてくるスライド幅信号403の値を加算する。その結果出力501の内容は、スライド命令検出信号131によってベースレジスタ201に書き込まれる。その他の動作は図3の例と同じである。

【0054】図7は、同じく図5の命令デコード部11の実施の形態の例において使用可能なスライド命令・レジスタ使用命令検出・制御部401の例である。

【0055】図7では、各命令コード121よりスライド命令である時の変更量を抽出するスライド幅抽出回路601を5命令分備える。スライド幅抽出回路601の出力は、スライド命令検出回路301の出力を用いてセクタ回路602において図のように先頭のスライド命令に対応する変更量が選択され、スライド幅信号403となる。

【0056】図7では、2番目から5番目までの4命令がそれぞれレジスタ使用命令であるかどうかを判別するレジスタ使用命令検出回路603を備える。レジスタ使用命令検出回路603の出力は、スライド命令検出回路203の出力と、第2のORゲート回路604によって図に示したように論理和が取られ、ANDゲート回路303ではその結果を用いる。これにより再フェッチマーク信号162は、2個目以降のスライド命令であるか、スライド命令の後でレジスタを使用する命令に付けられる。

【0057】図7の他の動作は図4と同じである。

【0058】以上に説明した図5から図7を採用する例では、並行して解読する複数命令中にスライド命令があると、レジスタ番号変換器111に与える変換ベース値132を変更し、その新たな変換ベース値による物理レジスタ番号への変換は次回に命令デコード部に入力する複数命令から始めて有効となる。したがって、検出されたスライド命令と並行して解読中の命令で、しかも元のプログ

ラム順でそのスライド命令より後の命令にレジスタ使用命令があれば、再フェッチマーク信号162を生成し、その命令からの再フェッチを行わせて再解読する。よって、図2から図4を採用する例に比べると、再解読の確率が高くなり、処理効率上は不利となるが、上記したように変更量、つまり命令で指定されたレジスタ番号と物理レジスタ番号の対応関係の更新幅をスライド命令ごとに変更することにも容易に対応できる点で有利である。

【0059】分岐命令の検出ごとにレジスタ番号変換のベース値、すなわち上記対応関係が番号変換制御部402のベースバッファ204に履歴として蓄積され、スライド命令の実行が投機実行であってその投機失敗が判明した場合に履歴を用いてベース値を書き戻して投機実行前の状態にもどす構成については図2～図4で述べた例と全く同様であり、つまりレジスタ番号の対応関係の更新も投機実行により高効率で実施することができる点は双方同様である。

【0060】図8は、本発明に係わるプロセッサの実施の形態の別の例である。図1とは、命令デコード部11で生成される再フェッチマーク信号162が命令完了部16ではなく、直接命令フェッチ部10へ送出されている。これにより図1の例よりも早く命令再フェッチを行うことが可能である。図8の他の動作は図1の例と同じである。

【0061】以上の種々の実施態様の説明では、いずれも命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号が異なる命令に対応して番号変換を行う構成を中心に述べたが、このような命令と、命令で指定するレジスタ番号通りの物理レジスタを用いる命令との両方ともに対応する構成として良いことは勿論である。

#### 【0062】

【発明の効果】本発明では、スーパースカラでレジスタリネームを行う場合においても、命令で指定されたレジスタ番号を実際に用いる物理レジスタの番号に効率良く変換することができる。また、命令で指定されたレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号の対応を変更するスライド命令も効率良く投機実行を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるプロセッサの全体構成の実施の形態の例である。

【図2】本発明によるプロセッサの命令デコード部の実施の形態の例である。

【図3】本発明によるプロセッサの命令デコード部内の番号変換制御部の実施の形態の例である。

【図4】本発明によるプロセッサの命令デコード部内のスライド命令検出・制御部の実施の形態の例である。

【図5】本発明によるプロセッサの命令デコード部の実施の形態の別の例である。

\*【図6】本発明によるプロセッサの命令デコード部内の番号変換制御部の実施の形態の別の例である。

【図7】本発明によるプロセッサの命令デコード部内のスライド命令検出・制御部の実施の形態の別の例である。

【図8】本発明によるプロセッサの全体構成の実施の形態の別の例である。

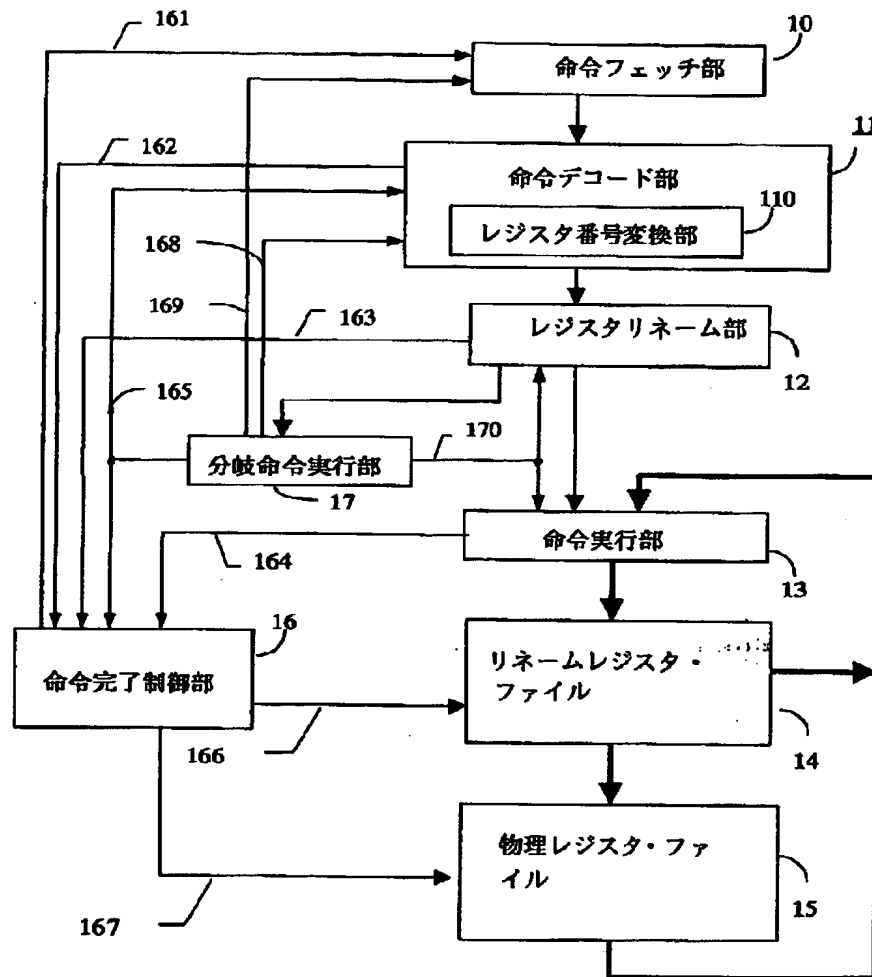
【図9】従来の命令で指定するレジスタ番号と実際に用いる物理レジスタの番号が異なるプロセッサの例である。

#### 【符号の説明】

- 10.... 命令フェッチ部
- 11.... 命令デコード部
- 12.... レジスタリネーム部
- 13.... 命令実行部
- 14.... リネームレジスタ・ファイル
- 15.... 物理レジスタファイル
- 16.... 命令完了部
- 17.... 分岐命令実行部
- 110 ... レジスタ番号変換部
- 111、112 ... レジスタ番号変換器
- 113 ... スライド命令検出・制御部
- 115 ... レジスタ・演算器制御情報生成部
- 130、402 .. 番号変換制御部
- 131 ... スライド命令検出信号
- 140 ... 分岐命令検出部
- 141 ... 分岐命令検出信号
- 161 ... 命令再フェッチ信号
- 162 ... 再フェッチマーク信号
- 163 ... リネームレジスタ割り当て信号
- 164、165.. 命令実行終了信号
- 168 .... 対応変更取り消し信号
- 169 .... 投機失敗による命令再フェッチ信号
- 170 .... 投機失敗による取り消し信号
- 201 .... ベースレジスタ
- 202 .... 変更量レジスタ
- 203 .... ベースレジスタへの加算器
- 204 .... ベースバッファ
- 301 .... スライド命令検出回路
- 302、604 .. OR回路
- 303 .... AND回路
- 401 .... スライド命令・レジスタ使用命令検出・制御部
- 601 .... スライド幅抽出回路
- 602 .... セレクト回路
- 603 .... レジスタ使用命令検出回路
- 90 .... ウィンドウポインタ
- 910 .... 読み出しレジスタ番号加算器
- 911 .... 書き込みレジスタ番号加算器。

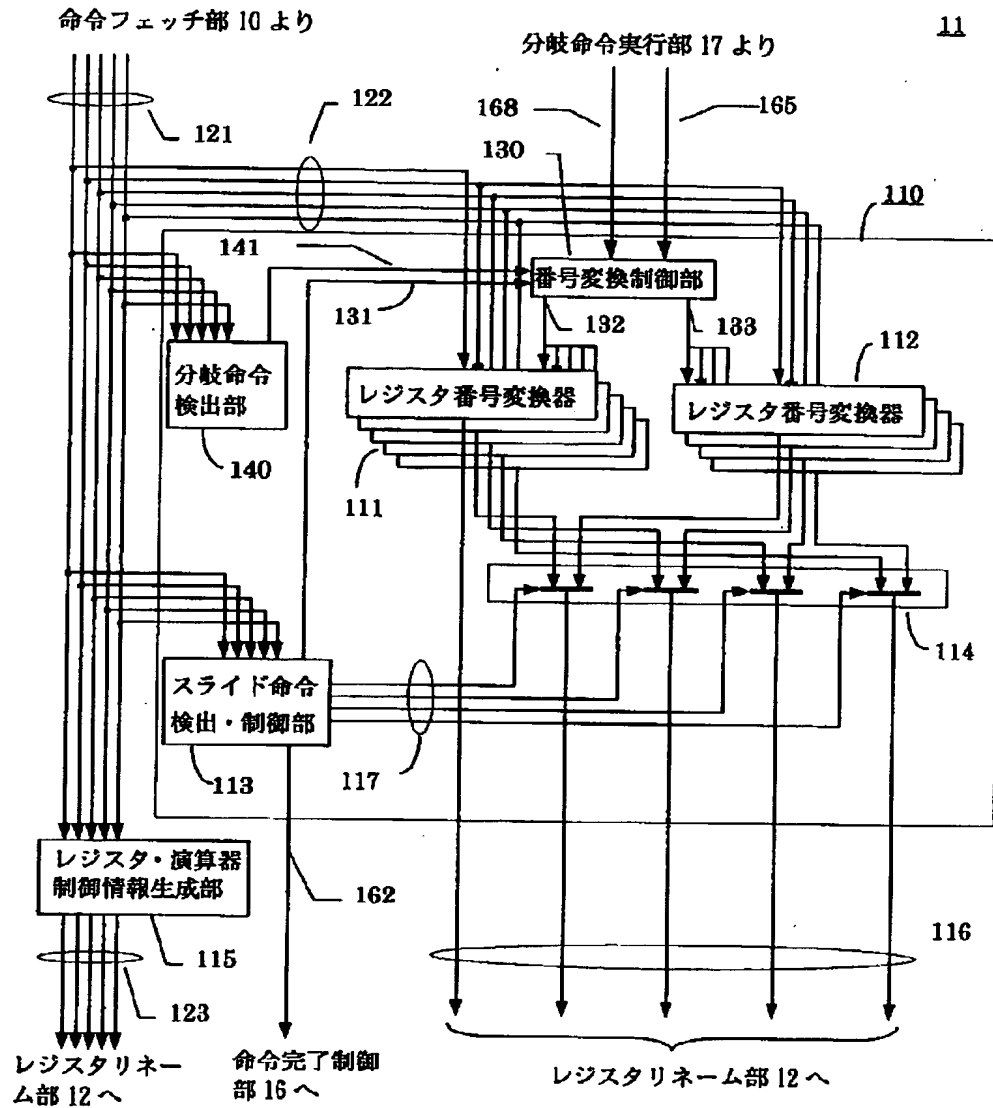
【図1】

図1



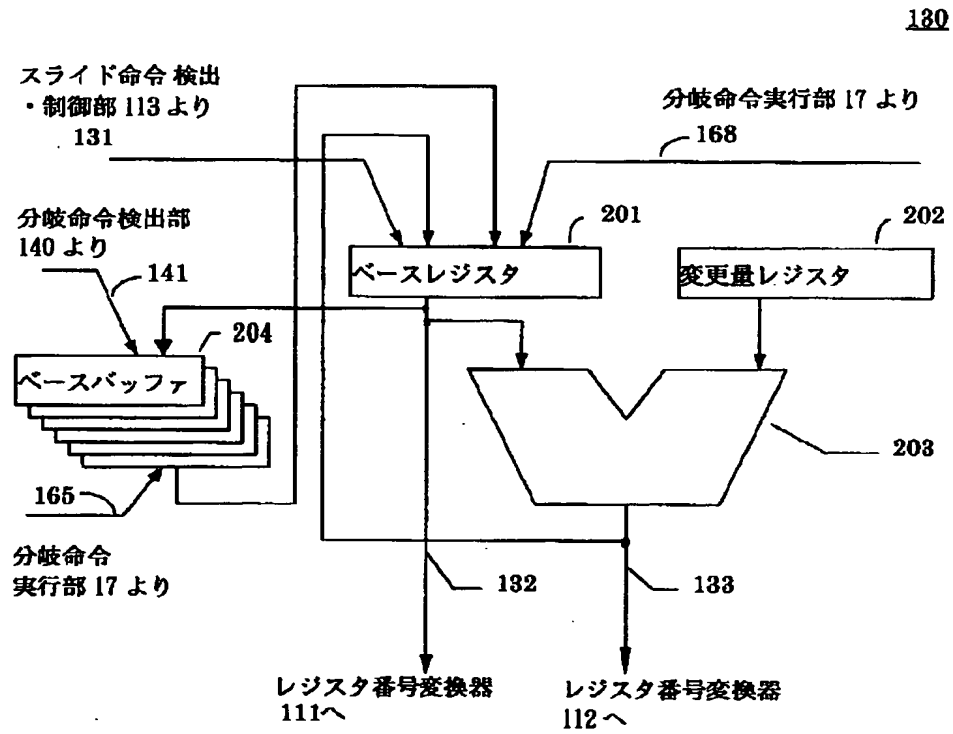
【図 2】

図 2



【図3】

図3



【図 4】

図 4

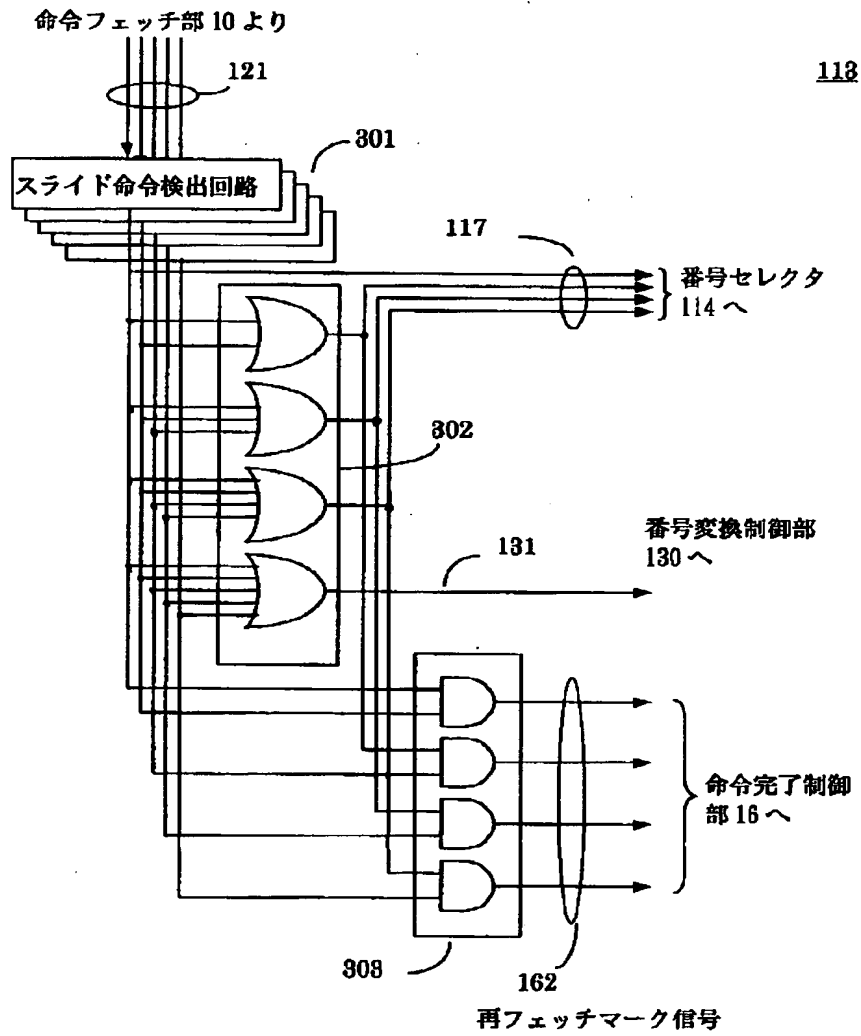
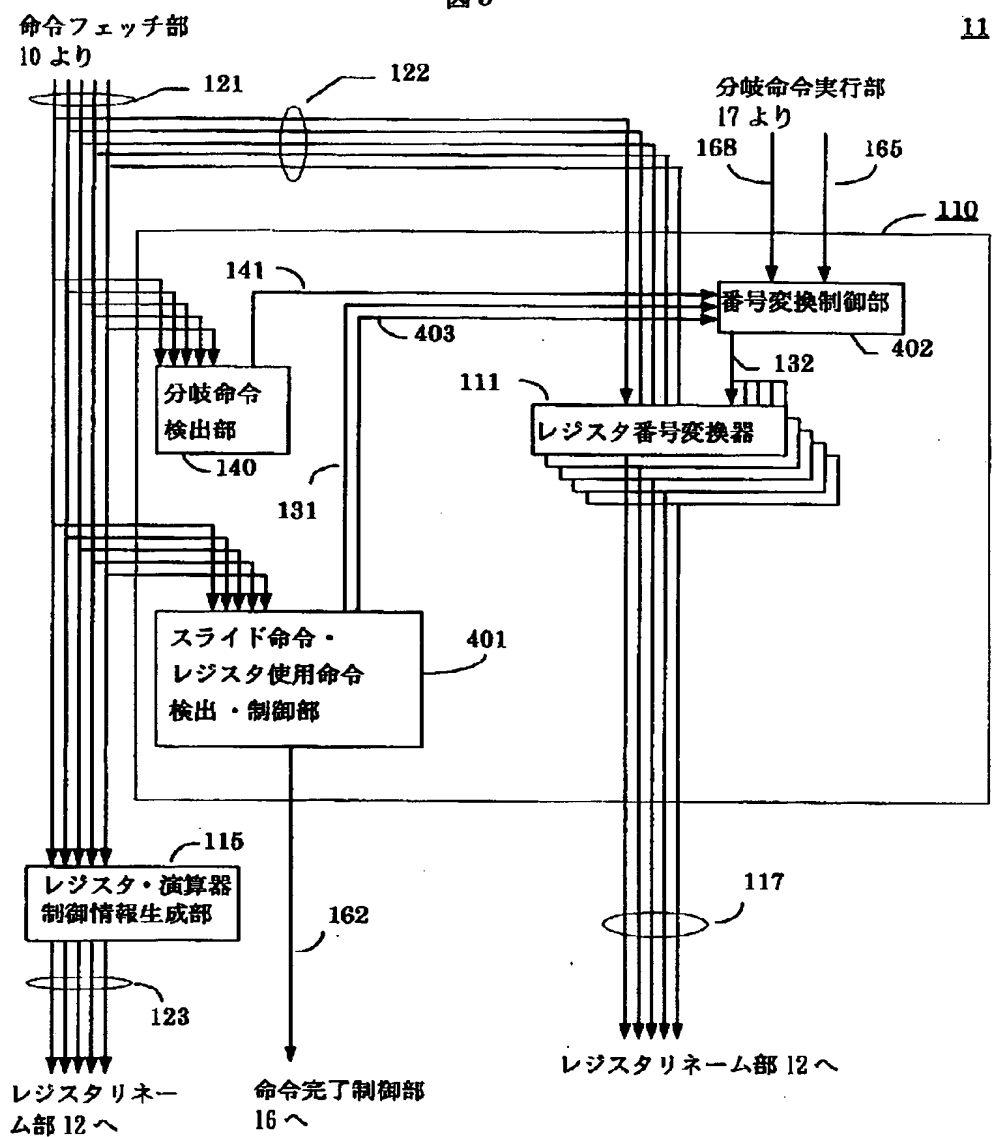


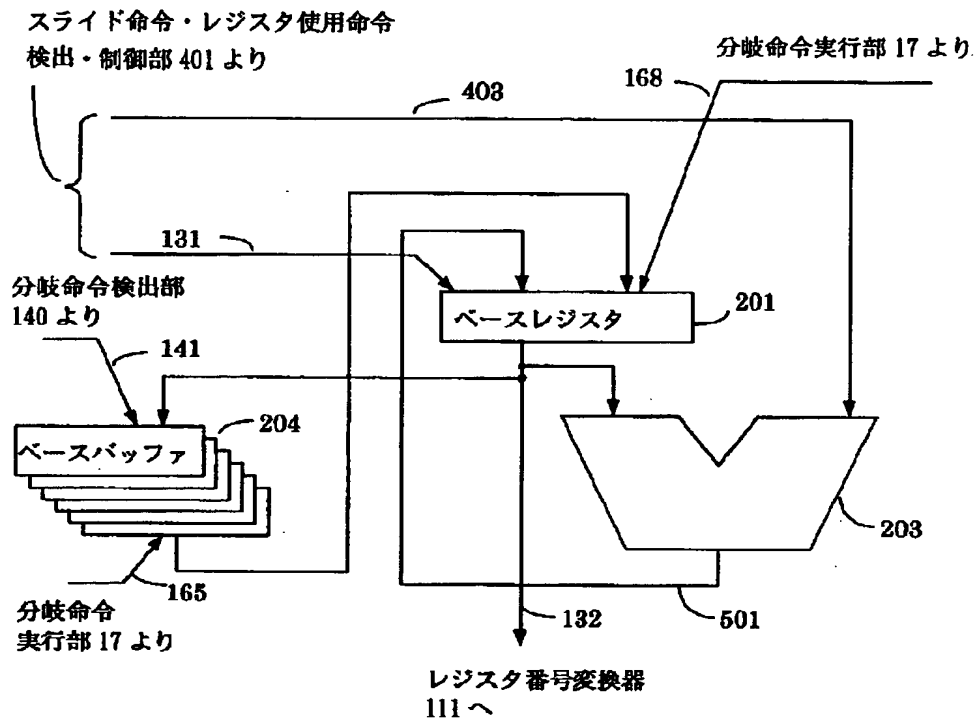
图 5



【図 6】

図 6

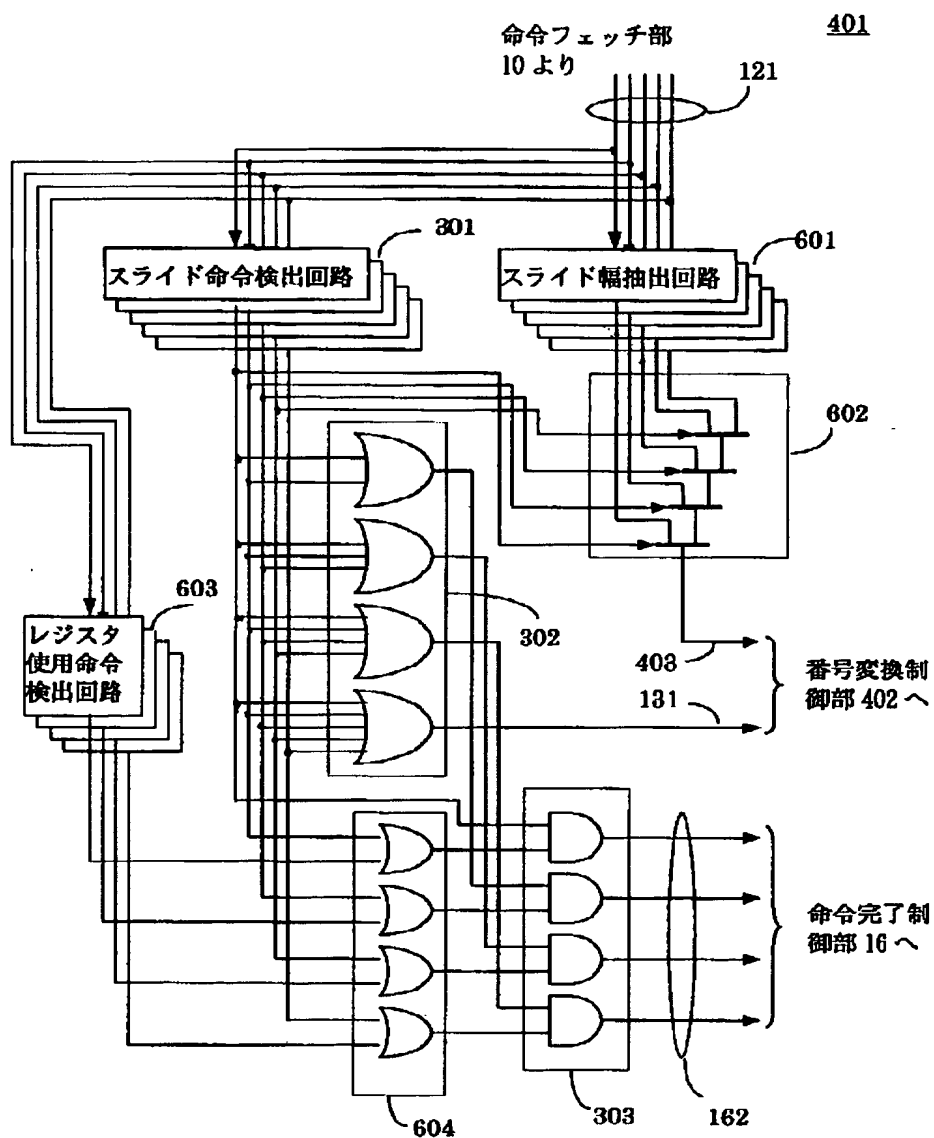
402





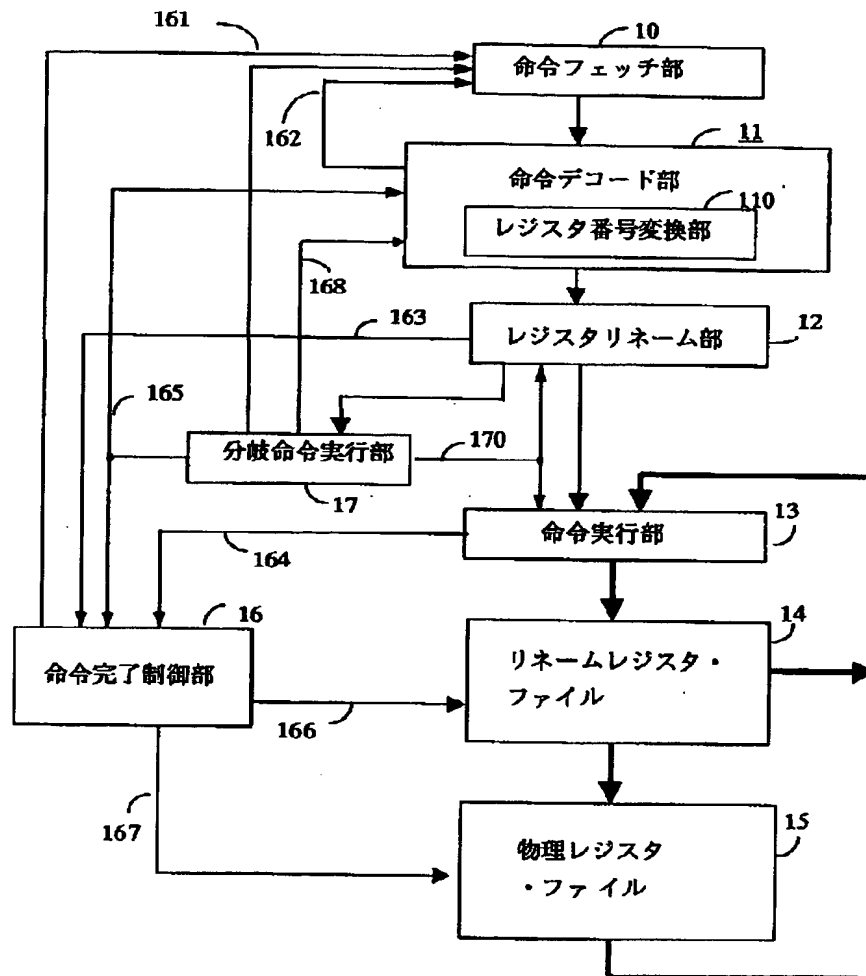
【図7】

図7



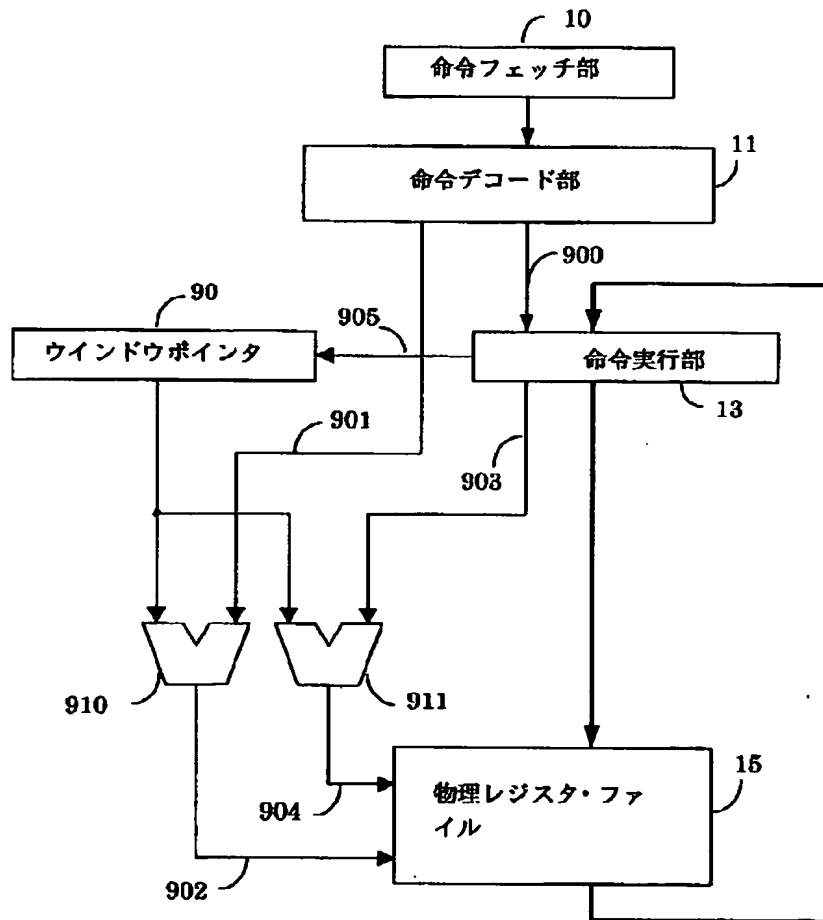
【図8】

図8



【図9】

図9



フロントページの続き

(72)発明者 田中 一成  
 神奈川県秦野市堀山下1番地 株式会社日  
 立製作所汎用コンピュータ事業部内

Fターム(参考) 5B013 AA01 AA20 BB01 BB18 CC06  
 CC07 DD10